

2002p 01387



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ Offenlegungsschrift  
⑩ DE 199 63 213 A 1

⑤1 Int. Cl. 7: **B 60 R 16/02**  
F 02 D 45/00  
B 60 K 41/00

②1 Aktenzeichen: 199 63 213.8  
②2 Anmeldetag: 28. 12. 1999  
④3 Offenlegungstag: 12. 7. 2001

DE 199 63 213 A 1

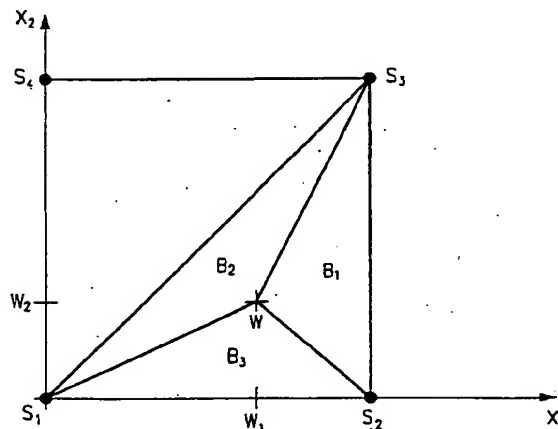
⑦1 Anmelder:  
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

⑦2 Erfinder:  
Schmitt, Manfred, Dr., 64646 Heppenheim, DE;  
Hess, Werner, 70499 Stuttgart, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤4 Verfahren zur Steuerung/Regelung eines Prozesses in einem Kraftfahrzeug und Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens

⑤7 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung/Regelung eines Prozesses in einem Kraftfahrzeug, insbesondere eines Verbrennungs-, Getriebeschalt- oder Bremsvorgangs, mit Hilfe eines Rasterkennfeldes, das durch mehrere Betriebsgrößen ( $X_i$ ) des Prozesses aufgespannt und durch Stützstellen ( $S_i$ ) mit zugehörigen Kennfeldwerten ( $Y_i$ ) repräsentiert wird, wobei in einem Steuerzyklus für einen Arbeitspunkt ( $W$ ) des Prozesses mindestens ein Kennfeldwert ( $Y_W$ ) aus dem Kennfeld ermittelt wird, indem zunächst benachbarte Stützstellen ( $S_i$ ) bestimmt werden, die einen Interpolationsbereich aufspannen, in dem der Arbeitspunkt ( $W$ ) liegt, und dann zwischen den Stützstellen ( $S_i$ ) interpoliert wird. Um den Rechenaufwand bei der Interpolation zu reduzieren, wird vorgeschlagen, dass der Kennfeldwert ( $Y_W$ ) für den Arbeitsbereich ( $W$ ) im Rahmen einer linearen Interpolation anhand einer minimalen Anzahl von Stützstellen ( $S_m$ ) bestimmt wird, wobei sich die Anzahl der Stützstellen ( $S_m$ ) aus der Anzahl ( $n$ ) der Betriebsgrößen ( $X_i$ ) des Prozesses, die das Kennfeld aufspannen, plus Eins ergibt ( $m = 1 \dots (n + 1)$ ).



DE 199 63 213 A 1

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung/Regelung eines Prozesses in einem Kraftfahrzeug, insbesondere eines Verbrennungs-, Getriebschalt- oder Bremsvorgangs, mit Hilfe eines Rasterkennfeldes. Das Kennfeld ist durch mehrere Betriebsgrößen des zu steuernden bzw. zu regelnden Prozesses aufgespannt und wird durch Stützstellen mit zugehörigen Kennfeldwerten repräsentiert. Die Steuerung/Regelung des Prozesses erfolgt in aufeinanderfolgenden Steuerzyklen. In einem Steuerzyklus wird für einen Arbeitspunkt des Prozesses mindestens ein Kennfeldwert aus dem Kennfeld ermittelt. Dazu werden zunächst benachbarte Stützstellen bestimmt, die einen Interpolationsbereich aufspannen, in dem der Arbeitspunkt liegt, und dann wird zwischen den Stützstellen interpoliert. Die vorliegende Erfindung betrifft außerdem eine Steuerungs-/Regelungsvorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens.

Eine zentrale Problematik bei der Realisierung von Steuerungen oder Regelungen, insbesondere in der Kraftfahrzeugtechnik, ist die Nachbildung der Eigenschaften von zu steuernden oder zu regelnden Teilsystemen in einem Rechner der Steuerungs- oder Regelungsvorrichtung. Aus diesen internen Nachbildungen können z. B. für einen Regler wichtige Zustandsgrößen ermittelt werden, die online nicht direkt messbar sind oder aus Kostengründen nicht gemessen werden, oder die aus der Nachbildung ermittelten Werte werden direkt zur Steuerung oder Regelung eines Prozesses verwendet.

Zur Modelldarstellung in einer Steuerungs-/Regelungsvorrichtung sind zwei grundsätzlich unterschiedliche Ansätze bekannt:

- Nachbilden der relevanten physikalisch-technischen Systemeigenschaften durch ein mathematisches Modell (z. B. ein Differentialgleichungssystem)
- explizite Speicherung der interessierenden Systeminformationen in Abhängigkeit der relevanten Betriebsgrößen (Kennfeld).

Für den Einsatz in Kraftfahrzeugen hat die Kennfelddarstellung Vorteile hinsichtlich eines geringen Bedarfs an Rechenzeit, da keine aufwendigen Modellrechnungen erforderlich sind, sondern die zu einem bestimmten Arbeitspunkt des Prozesses gehörenden Werte direkt aus dem Kennfeld entnommen werden können. Die Kennfelddarstellung hat auch hinsichtlich einer Applikationsvereinfachung Vorteile. Bei einer Modelldarstellung mit analytischen, die physikalischen Zusammenhänge beschreibenden Gleichungen muss der Applikateur im Allgemeinen die Modellstruktur recht genau kennen, um eine zielgerichtete Optimierung durchführen zu können. Da der Einfluss der anzupassenden Parameter sich meist über weitere Bereiche des "Adressraumes" erstreckt und eine mehr oder weniger starke Verkopplung der Einflüsse besteht, ist unter Umständen eine langwierige iterative Suche der optimalen Parameterkombination erforderlich. Im Gegensatz dazu hat bei einer Kennfelddarstellung jede Stützstellenanpassung eine klar definierte, eng begrenzte lokale Auswirkung. Detaillierte Modellkenntnis oder ein iteratives Vorgehen sind deshalb nicht erforderlich. Eine systematische, standardisierbare Anpassung ist möglich, unter Umständen kann die Anpassung sogar automatisiert werden.

Aus diesen Gründen ist die Anwendung von Kennfeldern zur Steuerung oder Regelung von Prozessen in Großserien-Steuer-/Regelungsvorrichtungen bereits heute weit verbreitet. In Kraftfahrzeugen werden Kennfelder etwa zur Einspritzung und Zündung und zur präzisen Bewältigung weiterer Aufgaben moderner Motormanagementsysteme eingesetzt. Aber auch zur Bereitstellung komplexer Modellinformationen bei Sicherheitssystemen wie Antiblockiersystem (ABS) und Antriebsschlupfregelung (ASR) sowie weiteren die Fahrstabilität und/oder Sicherheit gewährleistenden und/oder die Bremswirkung beeinflussenden Systemen und bei diversen anderen Anwendungen, wie automatisierten Getrieben, ist die Kennfelddarstellung weit verbreitet.

Die eingesetzten Kennfelder können eindimensional (sog. Kennlinien) oder zwei- bzw. mehrdimensional sein. Da die Anforderungen an Funktionalität und Präzision der zu steuernden bzw. zu regelnden Prozesse ständig steigen, ist es künftig in zunehmendem Maße erforderlich, mehr als zwei Betriebsgrößen in einem Kennfeld zu verknüpfen. Außerdem wird eine exakte Abstimmung sich gegenseitig beeinflussender Betriebsgrößen, wie Einspritzmenge, Zündwinkel, Beschleunigungsanreicherung, etc. erforderlich.

Das Kennfeld des vorliegenden Verfahrens zur Steuerung/Regelung eines Prozesses in einem Kraftfahrzeug ist als ein Rasterkennfeld ausgebildet. Die Stützstellen, durch die ein Rasterkennfeld repräsentiert wird, sind üblicherweise äquidistant zueinander angeordnet. Es sind aber auch Rasterkennfelder bekannt, bei denen die Stützstellen in den Bereichen der Eingangsgrößen plazierte werden, in denen sich die zu speichernde Funktion stark ändert. Die Eingangsgröße wird hierzu durch eine Stützstellentabelle mit nicht äquidistanter Stützstellenverteilung nichtlinear auf das Kennfeld abgebildet. Innerhalb des Kennfeldes kann dann wieder mit äquidistanter Stützstellenverteilung gerechnet werden.

Aus der DE 34 38 781 C2 ist ein Verfahren zur Steuerung/Regelung eines Prozesses in einem Kraftfahrzeug mit Hilfe eines Rasterkennfeldes bekannt. Das dort offenbarte Verfahren ist allerdings auf ein zweidimensionales Rasterkennfeld, d. h. auf ein Rasterkennfeld, das durch zwei Betriebsgrößen des Prozesses aufgespannt wird, beschränkt. In der genannten Druckschrift wird in Fig. 3 und der dazugehörigen Figurenbeschreibung eine sog. Vierecksinterpolation (bilineare Interpolation) und in Fig. 4 und der dazugehörigen Figurenbeschreibung eine sog. Dreiecksinterpolation beschrieben.

Im Rahmen der Vierecksinterpolation werden zunächst vier benachbarte Stützstellen bestimmt, die ein Interpolationsviereck aufspannen, in dem ein Arbeitspunkt des zu regelnden bzw. zu steuernden Prozesses liegt.

Anschließend wird zwischen den Stützstellen eine bilineare Interpolation durchgeführt. Bei der Dreiecksinterpolation werden zunächst drei benachbarte Stützstellen bestimmt, die ein Interpolationsdreieck aufspannen, in dem der Arbeitspunkt des Prozesses liegt. Anschließend wird im Rahmen einer nicht-linearen Interpolation zwischen den Stützstellen interpoliert. Die beschriebene Vierecksinterpolation hat die Nachteile, dass ein verhältnismäßig großer Programmumfang zur Verfügung gestellt werden muss und dass eine verhältnismäßig lange Laufzeit bis zum Vorliegen des zu dem Arbeitspunkt zugehörigen Kennfeldwertes benötigt wird. Die beschriebene Dreiecksinterpolation hat gegenüber der Vierecksinterpolation zwar den Vorteil eines geringeren Programmumfangs, allerdings den Nachteil einer höheren Laufzeit. Vor

allein bei der Anwendung eines bekannten Verfahrens zur Steuerung/Regelung eines Prozesses in einem Kraftfahrzeug spielen der Programmumfang (Kostenfaktor) und die Verarbeitungsgeschwindigkeit einer Recheneinheit jedoch eine große Rolle. Außerdem ist die beschriebene Dreiecksinterpolation auf die Anwendung bei einem Rasterkennfeld mit äquidistanter Stützstellenverteilung im Abstand von Zweierpotenzen beschränkt.

Deshalb ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zur Steuerung/Regelung eines Prozesses in einem Kraftfahrzeug der eingangs genannten Art dahingehend auszugestalten und weiterzubilden, dass es für Kennfelder beliebiger Dimension und Stützstellenverteilung universell einsetzbar ist, dass bei gleichbleibender bzw. sich nicht signifikant verschlechternder Interpolationsqualität der Rechenaufwand für die Interpolation reduziert wird und die interpolierte Kennfeldfläche einen stetigen Verlauf ohne Sprünge aufweist.

#### Vorteile der Erfindung

Zur Lösung dieser Aufgabe schlägt die Erfindung, ausgehend von dem Verfahren zur Steuerung/Regelung eines Prozesses in einem Kraftfahrzeug der eingangs genannten Art vor, dass der Kennfeldwert für den Arbeitspunkt im Rahmen einer linearen Interpolation anhand einer minimalen Anzahl von Stützstellen bestimmt wird, wobei sich die Anzahl der Stützstellen aus der Anzahl der Betriebsgrößen des Prozesses, die das Kennfeld aufspannen, plus Eins ergibt.

Die lineare Interpolation kann bspw. mit einem Interpolationsansatz über baryzentrische Koordinaten durchgeführt werden. Baryzentrische Koordinaten sind auf den Interpolationsbereich bezogene Koordinaten, die in Abhängigkeit von der Lage des Arbeitspunktes zwischen den Stützstellen entsprechende Gewichtungswerte für die zu den Stützstellen zugehörigen Kennfeldwerte festlegen.

Eine lineare Interpolation hat den Vorteil, dass für jede zusätzliche Dimension des Kennfeldes, d. h. für jede zusätzliche Betriebsgröße des Prozesses, durch die das Kennfeld aufgespannt wird, nur eine zusätzliche Stützstelle benötigt wird. Im Gegensatz dazu steigt bei der aus dem Stand der Technik bekannten bilinearen Interpolation die Anzahl der Stützstellen für jede zusätzliche Dimension des Kennfeldes exponentiell an.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird also durch die lineare Interpolation anhand einer minimalen Anzahl von Stützstellen, die sich aus der Dimension des Kennfeldes plus Eins ergibt, der Rechenaufwand bei der Interpolation erheblich reduziert, ohne dass sich dadurch die Interpolationsqualität verschlechtert. Außerdem hat die interpolierte Kennfeldfläche einen stetigen Verlauf und weist keine Sprünge auf. Schließlich ist das erfindungsgemäße Verfahren unabhängig von der Dimension des Kennfeldes universell anwendbar.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird vorgeschlagen, dass das Rasterkennfeld durch zwei Betriebsgrößen des Prozesses aufgespannt wird, wobei in dem Steuerzyklus für den Arbeitspunkt des Prozesses der mindestens eine Kennfeldwert aus dem Kennfeld ermittelt wird, indem zunächst drei benachbarte Stützstellen bestimmt werden, die ein Interpolationsdreieck aufspannen, in dem der Arbeitspunkt liegt, und dann zwischen den Stützstellen anhand der Interpolationsgleichung

$$Y_W = (B_1 \cdot Y_1 + B_2 \cdot Y_2 + B_3 \cdot Y_3) / (B_1 + B_2 + B_3)$$

interpoliert wird, wobei  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_3$  die Flächen von Teildreiecken innerhalb des von den bestimmten Stützstellen aufgespannten Interpolationsdreiecks sind, die von dem Arbeitspunkt und jeweils zwei der Stützstellen aufgespannt werden.

Vorteilhafterweise werden die drei benachbarten Stützstellen, die das Interpolationsdreieck aufspannen, in dem der Arbeitspunkt liegt, dadurch bestimmt, dass zunächst durch Suchen in einer Stützstellentabelle die Rasterfließe des Kennfeldes ermittelt wird, in der der Arbeitspunkt liegt. Dann wird durch einen Vergleich der Betriebsgrößen-Komponenten des Arbeitspunktes das Interpolationsdreieck innerhalb der ermittelten Rasterfließe bestimmt, in dem der Arbeitspunkt liegt.

Gemäß einer anderen vorteilhaften Weiterbildung der vorliegenden Erfindung wird vorgeschlagen, dass das Rasterkennfeld durch drei Betriebsgrößen des Prozesses aufgespannt wird, wobei in dem Steuerzyklus für den Arbeitspunkt des Prozesses der mindestens eine Kennfeldwert aus dem Kennfeld ermittelt wird, indem zunächst vier benachbarte Stützstellen bestimmt werden, die ein Interpolationstetraeder aufspannen, in dem der Arbeitspunkt liegt, und dann zwischen den Stützstellen anhand der Interpolationsgleichung

$$Y_W = (B_1 \cdot Y_1 + B_2 \cdot Y_2 + B_3 \cdot Y_3 + B_4 \cdot Y_4) / (B_1 + B_2 + B_3 + B_4)$$

interpoliert wird, wobei  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_3$ ,  $B_4$  die Volumina von Teiltetraedern innerhalb des von den bestimmten Stützstellen aufgespannten Interpolationstetraeders sind, die von dem Arbeitspunkt und jeweils drei der Stützstellen aufgespannt werden.

Das Rasterkennfeld für das erfindungsgemäße Verfahren kann eine beliebige Dimension aufweisen. Das erfindungsgemäße Verfahren ist nicht auf den Einsatz mit zwei- bzw. dreidimensionalen Rasterkennfeldern gemäß den o. g. vorteilhaften Weiterbildungen beschränkt. Für jede zusätzliche Dimension des Kennfeldes muss die Gleichung für die Interpolation im Zähler um einen Summanden  $B_n \cdot Y_n$  und im Nenner durch den Summanden  $B_n$  ergänzt werden.

Um eine weitere Reduzierung des Rechenaufwands bei der Interpolation erzielen zu können, wird gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung vorgeschlagen, dass die Abstände zwischen zwei benachbarten Stützstellen des Rasterkennfeldes vor der Interpolation auf den Wert 1 normiert werden. Für ein zweidimensionales Rasterkennfeld ergibt sich dadurch eine Fläche des Interpolationsdreiecks, in dem der Arbeitspunkt liegt, d. h. für die Summe der Flächen der Teildreiecke, eine Fläche von  $1/2 = 0,5$ . Wenn Zähler und Nenner der Gleichung für die Interpolation mit 2 multipliziert werden, ergibt sich im Nenner somit der Wert 1. Als Gleichung für die Interpolation ergibt sich dadurch

$$Y_W = 2 \cdot (B_1 \cdot Y_1 + B_2 \cdot Y_2 + B_3 \cdot Y_3).$$

Nach der Normierung muss zur Interpolation also eine zusätzliche Multiplikation durchgeführt werden. Dafür können jedoch eine Division und zwei Summationen eingespart werden.

- 5 Durch den Kennfeldzugriff über Stützstellentabellen liegen die Stützstellen für die Interpolationsrechnung bei einem zweidimensionalen Rasterkennfeld bei (0,0), (1,1) und (1,0) bzw. (0,1). Dadurch kann innerhalb des Kennfeldes mit äquidistanter Stützstellenverteilung gerechnet werden, wodurch der Rechenaufwand zur Berechnung der Flächen der Teildreiecke entscheidend reduziert werden kann. Die Flächen der Teildreiecke berechnen sich somit nach:

$$\begin{aligned} 2 \cdot B2 &= W_1 \cdot S_{32} - W_2 \cdot S_{31} = W_1 - W_2, \\ 10 \quad 2 \cdot B3 &= -W_1 \cdot S_{22} + W_2 \cdot S_{21} = W_2, \\ 2 \cdot B1 &= 1 - 2 \cdot (B2 + B3) = 1 - 2 \cdot W_1, \end{aligned}$$

- wobei  $W_1, W_2$  die Koordinaten des Arbeitspunktes  $W$  auf der  $X1$ -Achse bzw. der  $X2$ -Achse sind. Des Weiteren sind  $S_{i1}$  und  $S_{i2}$  die Koordinaten der Stützstellen  $S_i$  auf der  $X1$ -Achse bzw. der  $X2$ -Achse des Koordinatensystems. Die  
15 Interpolationsgleichung für ein zweidimensionales Rasterkennfeld vereinfacht sich damit zu:

$$Y_W = Y_1 + W_1 \cdot (Y_2 - Y_1) + W_2 \cdot (Y_3 - Y_2).$$

Für Kennfelddimensionen  $n$  größer 2 vereinfacht sich die Interpolationsgleichung allgemein zu:

$$\begin{aligned} 20 \quad & n \\ Y_W &= Y_1 + \text{SUM} \{ W_i \cdot (Y_{i+1} - Y_i) \} \\ & i=1 \end{aligned}$$

- 25 Die vorgeschlagene Vereinfachung führt zu einer erheblichen Reduzierung des Rechenaufwands für die Berechnung der Flächen der Teildreiecke und damit zu einer Vereinfachung der Gleichung für die Interpolation.

- Gemäß einer anderen vorteilhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird vorgeschlagen, dass am Ende eines Steuerzyklus der Arbeitspunkt und der ermittelte Kennfeldwert gespeichert werden und am Anfang des nachfolgenden Steuerzyklus überprüft wird, ob der Arbeitspunkt des nachfolgenden Steuerzyklus gleich geblieben ist. Bei dieser Ausführungsform wird der Tatsache Rechnung getragen, dass der Arbeitspunkt meist kontinuierlich, mit einer begrenzten Änderungsgeschwindigkeit durch das Kennfeld wandert. Falls der Arbeitspunkt des nachfolgenden Steuerzyklus gleich dem Arbeitspunkt des vorangegangenen Steuerzyklus ist, kann, ohne eine Interpolation durchführen zu müssen, der abgespeicherte Kennfeldwert aufgerufen und verwendet werden. Auf diese Weise kann der mittlere Rechenaufwand bei der Interpolation deutlich reduziert werden. Bei einem zweidimensionalen Kennfeld, das mit einem derartigen beschleunigten Zugriff ausgestattet ist, müssen dazu lediglich drei Werte in einem Speicher der Steuerungs-/Regelungsvorrichtung, vorzugsweise dem RAM, abgelegt werden, nämlich die  $X1$ - und  $X2$ -Koordinaten des alten Arbeitspunktes und das dazugehörige Interpolationsergebnis.

- Gemäß noch einer anderen bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird vorgeschlagen, dass am Ende eines Steuerzyklus die Zwischenwerte  $Y_1$  und  $Y_{i+1} - Y_i$  der Interpolationsgleichung gespeichert werden, und am Anfang des nachfolgenden Steuerzyklus überprüft wird, ob der Arbeitspunkt des nachfolgenden Steuerzyklus noch in demselben Interpolationsbereich liegt. Ist dies der Fall, können die abgespeicherten Zwischenergebnisse für die Ermittlung des Interpolationsbereichs verwendet werden. Der Rechenaufwand reduziert sich dadurch z. B. bei einem zweidimensionalen Kennfeld auf zwei Multiplikationen und zwei Additionen.

- 45 Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, eine Steuerungs-/Regelungsvorrichtung der eingangs genannten Art dahingehend auszugestalten und weiterzubilden, dass sie bei gleichbleibender oder sich zumindest nicht signifikant verschlechternder Interpolationsqualität mit reduziertem Rechenaufwand eine Interpolation zwischen den Stützstellen des Rasterkennfeldes ausführen kann.

- Zur Lösung dieser Aufgabe schlägt die Erfindung, ausgehend von der Steuerungs-/Regelungsvorrichtung der eingangs genannten Art vor, dass die Vorrichtung Mittel zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7 aufweist.

#### Beschreibung von Ausführungsbeispielen

- 55 Eine bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird im Folgenden anhand der Zeichnungen näher erläutert.

Es zeigen:

**Fig. 1** ein Rasterkennfeld mit äquidistanten Stützstellen gemäß einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsge-  
mäßigen Verfahrens; und

- 60 **Fig. 2** einen Ausschnitt des Rasterkennfeldes aus **Fig. 1** in einer Draufsicht auf die  $X1$ - $X2$ -Ebene.

- In **Fig. 1** ist ein zweidimensionales Rasterkennfeld dargestellt, wie es zur Steuerung/Regelung eines Prozesses in einem Kraftfahrzeug, insbesondere eines Verbrennungs-, Getriebeschalt- oder Bremsvorgangs, eingesetzt wird. Das Kennfeld ist durch Betriebsgrößen  $X1, X2$  des zu steuernden bzw. zu regelnden Prozesses aufgespannt und wird durch Stützstellen  $S_i$  mit zugehörigen Kennfeldwerten  $Y_i$  repräsentiert. Die Steuerung/Regelung des Prozesses erfolgt in aufeinanderfolgenden Steuerzyklen. In einem Steuerzyklus wird für einen Arbeitspunkt  $W$  des Prozesses mindestens ein Kennfeldwert  $Y_W$  aus dem Kennfeld ermittelt. Dazu werden zunächst benachbarte Stützstellen  $S_1, S_2, S_3$  bestimmt, die ein Interpolationsdreieck aufspannen, in dem der Arbeitspunkt  $W$  liegt. Dann wird eine Interpolation zwischen den Stützstellen des Interpolationsdreiecks durchgeführt.

Ein zweidimensionales Rasterkennfeld besteht aus einer Vielzahl sog. Rasterfliesen, die jeweils von vier Stützstellen  $S_1, S_2, S_3, S_4$  begrenzt werden. Jede Rasterfliese kann durch eine Diagonale durch zwei gegenüberliegende Stützstellen  $S_1, S_3$  in zwei Dreiecke unterteilt werden. Bei einheitlicher Triangulierung aller Fliesen (z. B.  $S_1-S_3$  in Fig. 2) können die nachfolgenden Berechnungsschritte besonders einfach gestaltet werden.

Die aktuelle Rasterfliese wird wie bei einem herkömmlichen Zugriff über eine Suche in Stützstellentabellen bestimmt. In der aktuellen Rasterfliese wird das aktuelle Interpolationsdreieck dann durch einen Vergleich der Betriebsgrößenkomponenten  $W_1, W_2$  des Arbeitspunktes  $W$  ermittelt. Falls  $W_1 > W_2$ , liegt der Arbeitspunkt  $W$  in dem Dreieck  $S_1, S_2, S_3$ , sonst in dem Dreieck  $S_1, S_3, S_4$ . Falls  $W_1 < W_2$ , wird  $S_4$  anstatt  $S_2$  als dritte Stützstelle (neben  $S_1$  und  $S_3$ ) geladen und  $W_1$  mit  $W_2$  beim Laden vertauscht. Die Interpolationsrechnung selbst ist identisch.

Zur Beschreibung der Interpolation, die im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens durchgeführt wird, wird auf Fig. 2 Bezug genommen. Der Kennfeldwert  $Y_W$  für den Arbeitspunkt  $W$  wird im Rahmen einer linearen Interpolation bestimmt. Für die lineare Interpolation wird eine minimale Anzahl von Stützstellen  $S_1, S_2, S_3$  verwendet. Die Anzahl der verwendeten Stützstellen ergibt sich aus der Dimension des Rasterkennfeldes, d. h. aus der Anzahl  $n = 2$  der Betriebsgrößen  $X_1$  und  $X_2$  des Prozesses, die das Kennfeld aufspannen, plus Eins ( $n + 1 = 3$ ). Um eine einfache, einheitliche Interpolationsroutine zu ermöglichen, wird eine einheitliche Triangulierungsrichtung zwischen  $S_1$  und  $S_3$  festgelegt.

Die Interpolation zwischen den Stützstellen  $S_1, S_2, S_3$  wird anhand einer Interpolationsgleichung

$$Y_W = (B_1 \cdot Y_1 + B_2 \cdot Y_2 + B_3 \cdot Y_3) / (B_1 + B_2 + B_3)$$

durchgeführt. Dabei sind  $B_1, B_2, B_3$  die Flächen von Teildreiecken innerhalb des von den bestimmten Stützstellen  $S_1, S_2, S_3$  aufgespannten Interpolationsdreiecks, die von dem Arbeitspunkt  $W$  und jeweils zwei der Stützstellen  $S_2, S_3$ ;  $S_1, S_3$ ;  $S_1, S_2$  aufgespannt werden.

Die Flächen der Teildreiecke berechnen sich aus den Gleichungen:

$$\begin{aligned} 2 \cdot B_2 &= W_1 \cdot S_{32} - W_2 \cdot S_{31}, \\ 2 \cdot B_3 &= -W_1 \cdot S_{22} + W_2 \cdot S_{21}, \\ 2 \cdot B_1 &= 1 - 2 \cdot (B_2 + B_3), \end{aligned}$$

wobei  $S_{i1}$  und  $S_{i2}$  die Koordinaten der Stützstellen  $S_i$  auf der  $X_1$ -Achse bzw. der  $X_2$ -Achse des Koordinatensystems sind.

Durch verschiedene Maßnahmen kann eine weitere Reduzierung des Rechenaufwandes bei der Interpolation erzielt werden. Die Stützstellen  $S_i$ , durch die ein Rasterkennfeld repräsentiert wird, sind üblicherweise äquidistant zueinander angeordnet. Es sind aber auch Rasterkennfelder bekannt, bei denen die Stützstellen  $S_i$  in den Bereichen des Kennfeldes, in denen sich die gespeicherten Funktionswerte stark ändern, oder in dem eine höhere lokale Genauigkeit gefordert ist, einen geringeren Abstand zueinander aufweisen als in dem übrigen Kennfeld.

Bei derartigen Rasterkennfeldern mit nicht äquidistanten Stützstellen  $S_i$  können die Koordinaten der Stützstellen mit einer laufenden Nummer in einer Stützstellentabelle abgelegt werden. Vor der Interpolation zwischen den Stützstellen  $S_1, S_2, S_3$  werden die laufenden Nummern der Stützstellen  $S_1, S_2, S_3$  aus der Stützstellentabelle ermittelt. Dadurch sind die Abstände zwischen zwei benachbarten Stützstellen des Rasterkennfeldes auf den Wert 1 normiert. Das Interpolationsdreieck, in dem der Arbeitspunkt  $W$  liegt, weist somit eine Fläche von  $B_1 + B_2 + B_3 = 1/2 = 0,5$  auf. Wenn Zähler und Nenner der Gleichung für die Interpolation mit 2 multipliziert werden, ergibt sich im Nenner der Wert 1. Die Gleichung für die Interpolation vereinfacht sich somit zu

$$Y_W = 2 \cdot (B_1 \cdot Y_1 + B_2 \cdot Y_2 + B_3 \cdot Y_3).$$

Durch den Kennfeldzugriff über Stützstellentabellen liegen die Stützstellen  $S_1, S_2, S_3$  für die Interpolationsrechnung bei dem vorliegenden zweidimensionalen Rasterkennfeld bei  $(0,0)$ ,  $(1,0)$  und  $(1,1)$ . Dadurch kann innerhalb des Kennfeldes dann mit äquidistanter Stützstellenverteilung gerechnet werden, wodurch der Rechenaufwand zur Berechnung der Flächen der Teildreiecke entscheidend reduziert werden kann. Die Flächen der Teildreiecke berechnen sich somit nach:

$$\begin{aligned} 2 \cdot B_2 &= W_1 \cdot S_{32} - W_2 \cdot S_{31} = W_1 - W_2, \\ 2 \cdot B_3 &= -W_1 \cdot S_{22} + W_2 \cdot S_{21} = W_2, \\ 2 \cdot B_1 &= 1 - 2 \cdot (B_2 + B_3) = 1 - 2 \cdot W_1, \end{aligned}$$

wobei  $W_1, W_2$  die Koordinaten des Arbeitspunktes  $W$  auf der  $X_1$ -Achse bzw. der  $X_2$ -Achse sind. Des Weiteren sind  $S_{i1}$  und  $S_{i2}$  die Koordinaten der Stützstellen  $S_i$  auf der  $X_1$ -Achse bzw. der  $X_2$ -Achse des Koordinatensystems. Die Interpolationsgleichung für ein zweidimensionales Rasterkennfeld vereinfacht sich damit zu:

$$Y_W = Y_1 + W_1 \cdot (Y_2 - Y_1) + W_2 \cdot (Y_3 - Y_2).$$

Zur Reduzierung des mittleren Rechenaufwands zur Ermittlung des Interpolationsdreiecks, in dem der Arbeitspunkt  $W$  liegt, werden am Ende eines Steuerzyklus die Zwischenwerte  $Y_1, Y_2 - Y_1$  und  $Y_3 - Y_2$  der Interpolationsgleichung gespeichert. Am Anfang des nachfolgenden Steuerzyklus wird überprüft, ob der Arbeitspunkt  $W_{\text{neu}}$  des nachfolgenden Steuerzyklus noch in demselben Interpolationsbereich  $X_{i1} - X_{i1-1}; X_{i2} - X_{i2-1}$  liegt. Ist dies der Fall, können die abgespeicherten Zwischenwerte für die Ermittlung des Interpolationsbereichs des nachfolgenden Steuerzyklus verwendet werden. Der Rechenaufwand reduziert sich dadurch bei dem zweidimensionalen Rasterkennfeld auf zwei Multiplikationen und zwei Additionen.

Zur Reduzierung des mittleren Rechenaufwands für die Interpolation in dem ermittelten Interpolationsdreieck wird vorgeschlagen, dass am Ende eines Steuerzyklus der Arbeitspunkt W und der ermittelte Kennfeldwert  $Y_W$  gespeichert werden und am Anfang des nachfolgenden Steuerzyklus überprüft wird, ob der Arbeitspunkt W neu gleich geblieben ist. Eine einfache Abfrage am Anfang des nachfolgenden Steuerzyklus kann dann die relativ aufwendige Interpolation zur Ermittlung des Kennfeldwertes  $Y_{W\_neu}$  ersetzen.

Bei diesen Vorschlägen zur Reduzierung des Rechenaufwandes bei der Ermittlung des Interpolationsdreiecks und bei der Interpolation in dem Interpolationsdreieck wird der Tatsache Rechnung getragen, dass der Arbeitspunkt W meist kontinuierlich, mit einer begrenzten Änderungsgeschwindigkeit durch das Kennfeld wandert.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung/Regelung eines Prozesses in einem Kraftfahrzeug, insbesondere eines Verbrennungs-, Getriebe- oder Bremsvorgangs, mit Hilfe eines Rasterkennfeldes, das durch mehrere Betriebsgrößen ( $X_i$ ) des Prozesses aufgespannt und durch Stützstellen ( $S_i$ ) mit zugehörigen Kennfeldwerten  $V_i$  repräsentiert wird, wobei in einem Steuerzyklus für einen Arbeitspunkt (W) des Prozesses mindestens ein Kennfeldwert ( $Y_W$ ) aus dem Kennfeld ermittelt wird, indem zunächst benachbarte Stützstellen ( $S_i$ ) bestimmt werden, die einen Interpolationsbereich aufspannen, in dem der Arbeitspunkt (W) liegt, und dann zwischen den Stützstellen ( $S_i$ ) interpoliert wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Kennfeldwert ( $Y_W$ ) für den Arbeitspunkt (W) im Rahmen einer linearen Interpolation anhand einer minimalen Anzahl von Stützstellen ( $S_m$ ) bestimmt wird, wobei die minimale Anzahl der Stützstellen ( $S_m$ ) aus der Anzahl (n) der Betriebsgrößen ( $X_i$ ) des Prozesses, die das Kennfeld aufspannen ermittelt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass sich die minimale Anzahl der Stützstellen ( $S_m$ ) aus der Anzahl (n) der Betriebsgrößen ( $X_i$ ) des Prozesses, die das Kennfeld aufspannen, plus Eins ergibt ( $m = 1 \dots (n+1)$ ).

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Rasterkennfeld durch zwei Betriebsgrößen ( $X_1, X_2$ ) des Prozesses aufgespannt wird, wobei in dem Steuerzyklus für den Arbeitspunkt (W) des Prozesses der mindestens eine Kennfeldwert ( $Y_W$ ) aus dem Kennfeld ermittelt wird, indem zunächst drei benachbarte Stützstellen ( $S_1, S_2, S_3$ ) bestimmt werden, die ein Interpolationsdreieck aufspannen, in dem der Arbeitspunkt (W) liegt, und dann zwischen den Stützstellen ( $S_1, S_2, S_3$ ) anhand der Interpolationsgleichung

$$Y_W = (B_1 \cdot Y_1 + B_2 \cdot Y_2 + B_3 \cdot Y_3) / (B_1 + B_2 + B_3)$$

interpoliert wird, wobei  $B_1, B_2, B_3$  die Flächen von Teildreiecken innerhalb des von den bestimmten Stützstellen ( $S_1, S_2, S_3$ ) aufgespannten Interpolationsdreiecks sind, die von dem Arbeitspunkt (W) und jeweils zwei der Stützstellen ( $S_2, S_3; S_1, S_3; S_1, S_2$ ) aufgespannt werden.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die drei benachbarten Stützstellen ( $S_1, S_2, S_3$ ), die das Interpolationsdreieck aufspannen, in dem der Arbeitspunkt (W) liegt, dadurch bestimmt werden, dass zunächst durch Suchen in einer Stützstellentabelle die Rasterfließe des Kennfeldes ermittelt wird, in der der Arbeitspunkt (W) liegt, und dann durch einen Vergleich der Betriebsgrößen-Komponenten ( $W_1, W_2$ ) des Arbeitspunkts (W) das Interpolationsdreieck innerhalb der ermittelten Rasterfließe bestimmt wird, in dem der Arbeitspunkt (W) liegt.

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Rasterkennfeld durch drei Betriebsgrößen des Prozesses aufgespannt wird, wobei in dem Steuerzyklus für den Arbeitspunkt (W) des Prozesses der mindestens eine Kennfeldwert ( $Y_W$ ) aus dem Kennfeld ermittelt wird, indem zunächst vier benachbarte Stützstellen ( $S_1, S_2, S_3, S_4$ ) bestimmt werden, die ein Interpolationstetraeder aufspannen, in dem der Arbeitspunkt (W) liegt, und dann zwischen den Stützstellen ( $S_1, S_2, S_3, S_4$ ) anhand der Interpolationsgleichung

$$Y_W = (B_1 \cdot Y_1 + B_2 \cdot Y_2 + B_3 \cdot Y_3 + B_4 \cdot Y_4) / (B_1 + B_2 + B_3 + B_4)$$

interpoliert wird, wobei  $B_1, B_2, B_3, B_4$  die Volumina von Teiltetraedern des von den bestimmten Stützstellen ( $S_1, S_2, S_3, S_4$ ) aufgespannten Interpolationstetraeders sind, die von dem Arbeitspunkt und jeweils drei der Stützstellen ( $S_2, S_3, S_4; S_1, S_3, S_4; S_1, S_2, S_4; S_1, S_2, S_3$ ) aufgespannt werden.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Abstände zwischen zwei benachbarten Stützstellen ( $S_i$ ) des Rasterkennfeldes vor der Interpolation auf den Wert 1 normiert werden.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass am Ende eines Steuerzyklus der Arbeitspunkt (W) und der ermittelte Kennfeldwert ( $Y_W$ ) gespeichert werden und am Anfang des nachfolgenden Steuerzyklus überprüft wird, ob der Arbeitspunkt ( $W_{neu}$ ) des nachfolgenden Steuerzyklus gleich geblieben ist.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass am Ende eines Steuerzyklus Zwischenwerte ( $Y_1; Y_{(i+1)} - Y_i$ ) der Interpolationsgleichung gespeichert werden und am Anfang des nachfolgenden Steuerzyklus überprüft wird, ob der Arbeitspunkt ( $W_{neu}$ ) des nachfolgenden Steuerzyklus noch in demselben Interpolationsbereich ( $X_{i1}, X_{i1-1}; X_{i2}, X_{i2-1}$ ) liegt.

9. Steuerungs-/Regelungsvorrichtung zur Steuerung/Regelung eines Prozesses in einem Kraftfahrzeug, insbesondere eines Verbrennungs-, Getriebe- oder Bremsvorgangs, mit Hilfe eines Rasterkennfeldes, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung Mittel zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8 aufweist.

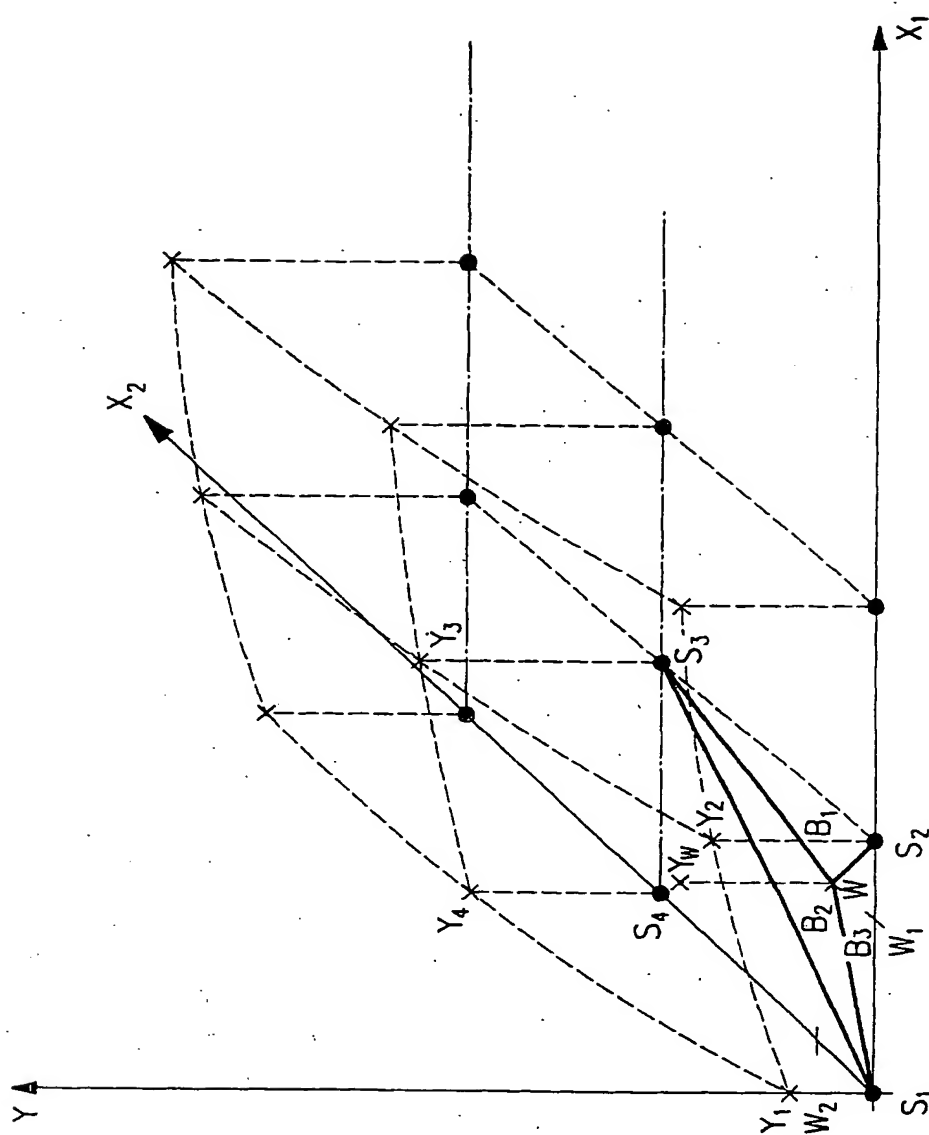
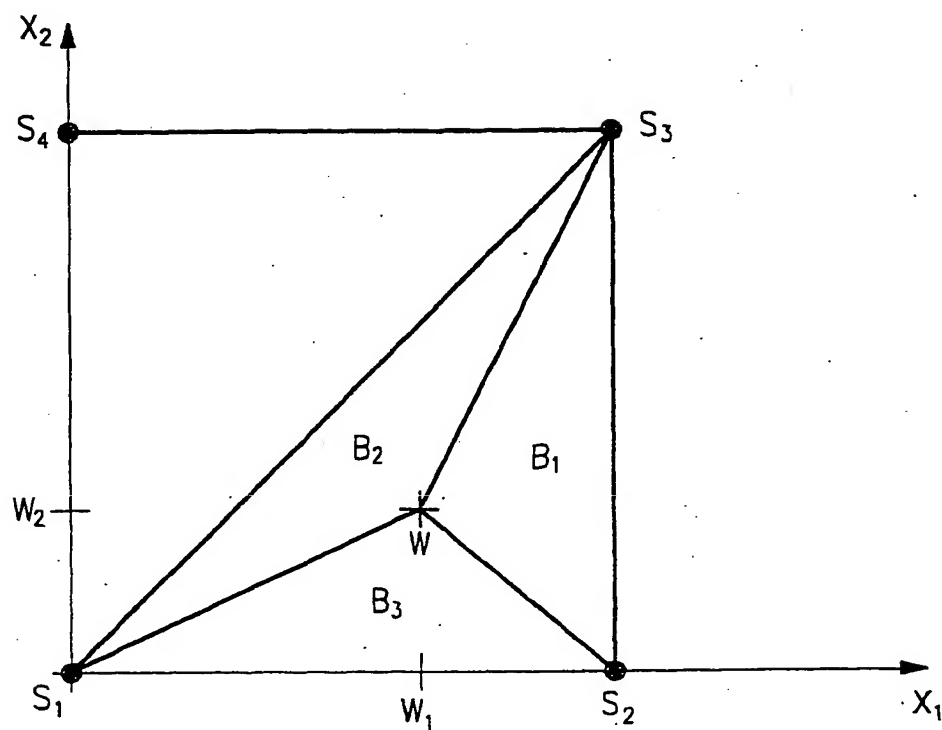


Fig. 1



*Fig. 2*



# ENDEBLATT

**DRUCKAUFTRAGS-ID: 1938**

**Benutzer:** rodening  
**Drucker:** gdHO7320  
**Job Beginn:** 17.07.2003 10:34  
**Job Ende:** 17.07.2003 10:34

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

# DRUCKAUFTRAG

1938

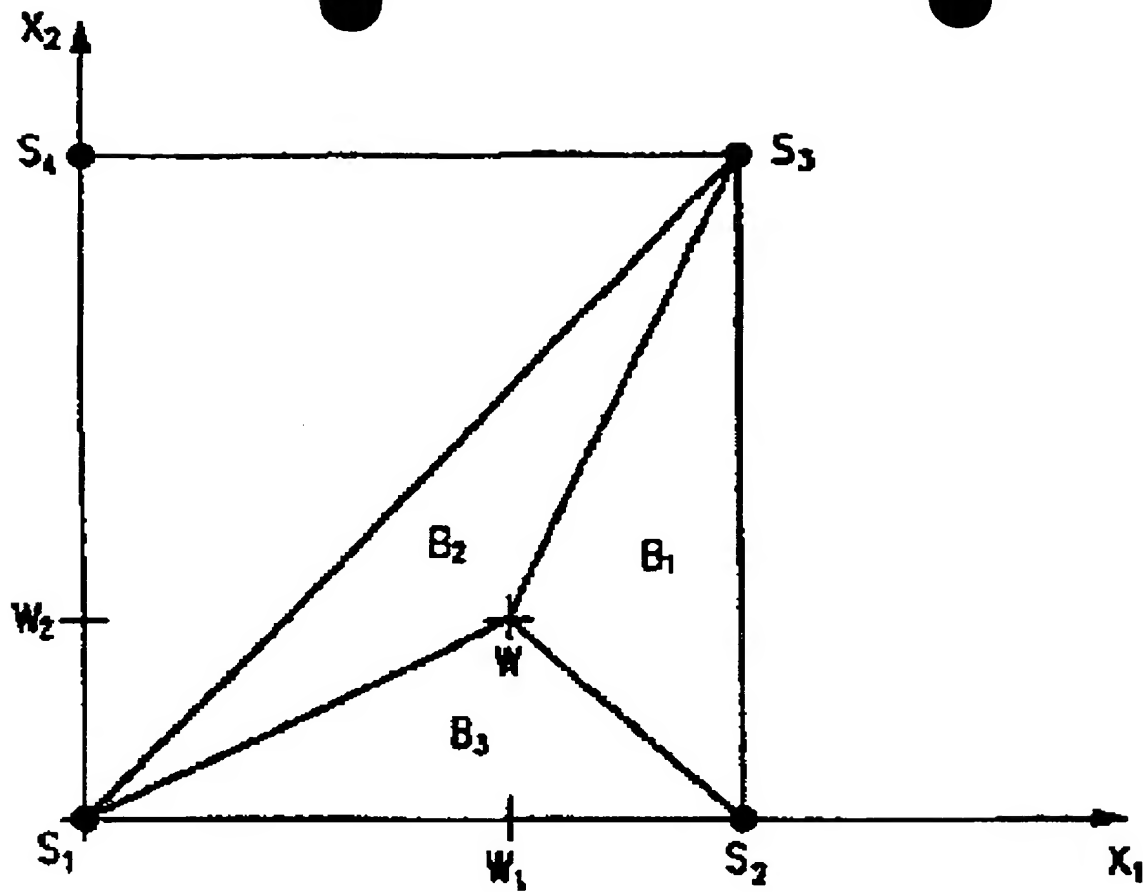
**Deninger, Roland**

<b>Druckauftrags-Id:</b>	1938
<b>Benutzer:</b>	rodening
<b>Drucker:</b>	gdHO7320
<b>Anforderer:</b>	Deninger, Roland, 112
<b>Gesamtkosten:</b>	0,00 EUR
<b>Datum:</b>	17.07.2003 10:34

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

AN: PAT 2001-443239  
TI: Automobile control process regulation method for gear changing, combustion, or braking, uses raster field for providing characteristic values for defined operating point by interpolation between specific points  
PN: DE19963213-A1  
PD: 12.07.2001  
AB: NOVELTY - The regulation method has a raster field, encompassing a number of operating parameters (X), represented by specific points (S1-S4) with corresponding characteristic values, used for providing at least one characteristic value for a defined operating point (W) in a control cycle, with interpolation between adjacent specific points. The linear interpolation uses a minimum number of specific points determined by the number of operating parameters. DETAILED DESCRIPTION - An INDEPENDENT CLAIM for an automobile control process regulation device is also included.; USE - The regulation method is used for a gear changing, combustion, or braking control process in an automobile. ADVANTAGE - The regulation method allows exact matching of different operating parameters with opposing effects. DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The figure shows a schematic representation of part of a raster field. Specific points S1-S4 Defined operating point W  
Operating parameters X  
PA: (BOSC ) BOSCH GMBH ROBERT; (HESS/) HESS W;  
(SCHM/) SCHMITT M;  
IN: HESS W; SCHMITT M;  
FA: DE19963213-A1 12.07.2001; US6434465-B1 13.08.2002;  
US2001027358-A1 04.10.2001;  
CO: DE; US;  
IC: B60K-041/00; B60K-041/08; B60R-016/02; F02D-045/00;  
G06F-007/00;  
MC: X22-A03F; X22-C02C; X22-G01;  
DC: Q13; Q17; Q52; X22;  
FN: 2001443239.gif  
PR: DE1063213 28.12.1999;  
FP: 12.07.2001  
UP: 28.08.2002

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

Docket # S3-02P01381  
Applic. # PCT/DE2003/002982  
Applicant: HIRN, RAINER ET AL.  
Lerner and Greenberg, P.A.  
Post Office Box 2480  
Hollywood, FL 33022-2480  
Tel: (954) 925-1100 Fax: (954) 925-1101